

# 論文 小粒径砕石を用いたコンクリートの性状に関する一考察

渡邊 真史\*1・斉藤 丈士\*2・三本 巖\*3

**要旨:** 水セメント比が 50%, 目標スラブが 18cm の軟練りコンクリートに対して, 粗骨材の最大寸法を 20, 15 および 13mm と変化させたときのスラブ, 空気量および加振時の間隙通過性試験を実施し, フレッシュ性状の確認と間隙通過性を評価する上で適当となる流動障害の検討を行った。また, 圧縮強度, 静弾性係数および長さ変化率の測定により, 硬化性状の比較を行った。その結果, 粗骨材の最大寸法が小さい場合においても, コンクリートのフレッシュ性状および硬化性状へ及ぼす影響は小さく, 適切な流動障害を選定することによって間隙通過性を評価することが可能であることが確認された。

**キーワード:** 粗骨材の最大寸法, 間隙通過性, 流動障害, 硬化性状

## 1. はじめに

耐震基準等への対応のため RC 造の配筋は高密度化する傾向にあり, 配筋密度の高い部位にコンクリートを打ち込む機会が多くなっている。高密度配筋部や狭さく部における充填不良を予防するため, コンクリートには優れた間隙通過性が求められるようになっており, 高流動コンクリートに関する規準類<sup>1) 2)</sup>の整備や JIS A 5308「レディミクストコンクリート」の普通コンクリートにおけるスラブフローの区分の新設など, コンクリートの流動性を大きくすることによって間隙通過性を高める動きが見られる。

一方で, コンクリートの間隙通過性は粗骨材の最大寸法を小さくすることによっても高まると考えられるが, JIS A 5308 に規定される普通骨材の最大寸法は 20mm が最小のため, 最大寸法が 20mm 未満 (以下, 小粒径という) の粗骨材を単独で用いる機会は, 模擬構造体による実験などに適用する場合を除くと皆無に等しい。また, 小粒径の粗骨材を用いたコンクリートについて検討した事例は極めて少なく<sup>3)</sup>, 粗骨材の小粒径化がコンクリートの性状に及ぼす影響に関しては不明な点が多い。

そこで本研究では, 小粒径粗骨材の使用がコンクリートの性状に及ぼす影響を明らかにするために, 小粒径の砕石を用いたコンクリートの品質を, 従来の最大寸法 20mm の砕石を用いた場合と比較することとした。

なお, 加振時におけるコンクリートの間隙通過性を評価する唯一の試験方法 JSCE-F 701「ボックス形容器を用いた加振時のコンクリートの間隙通過性試験方法 (案)」<sup>4)</sup>においては, 現状で軟練りコンクリートの間隙通過性を評価するのが困難<sup>5)</sup>なため, この試験方法の改良についても同時に検討した。

ここでは, 水セメント比が 50% で目標スラブが 18cm

の軟練りコンクリートに対して, 粗骨材の最大寸法を 20, 15 および 13mm と変化させ, さらに単位粗骨材かさ容積を 0.575~0.650m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> の範囲で変化させて検討を行った。また, JSCE-F 701 試験方法の改良については, 単位粗骨材かさ容積が 0.600m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> の場合を対象に, 流動障害の程度を変化させて検討を行った。

## 2. 実験概要

### 2.1 使用材料および配(調)合

使用材料を表-1 に示す。粗骨材は, JIS の製品認証を受けた砕石工場で製造されたものであり, 整粒機による摩砕, コルゲートサイロによる貯蔵, 分割計量による粒度調整が行われている。なお, 粗骨材の最大寸法によらず, 表乾密度および実積率は全て同じである。

表-1 使用材料

材料名 (記号)	概要
セメント (C)	普通ポルトランドセメント, 密度 3.16g/cm <sup>3</sup>
水 (W)	上水道水, 千葉県浦安市
細骨材 (S)	砂 (山砂), 千葉県富津市産, 表乾密度 2.61g/cm <sup>3</sup> , 粗粒率 2.60
粗骨材 (G)	砕石 2005, 砕石 1505 および 砕石 1305 (硬質砂岩), 栃木県鹿沼市産, 実積率 60.0%, 表乾密度 2.63g/cm <sup>3</sup> , 砕石 2005 の 粒形判定実積率 59.6%
化学混和剤 (Ad1)	高性能 AE 減水剤, ポリカルボン酸エーテル系
化学混和剤 (Ad2)	AE 剤, 変性ロジン酸化合物系 陰イオン界面活性剤

\*1 (株)内山アドバンス 生産・技術本部 中央技術研究所 主任 修士(工) (正会員)

\*2 日本大学 生物資源科学部 生物環境工学科 准教授 博士(工) (正会員)

\*3 (株)内山アドバンス 生産・技術本部 技術部兼中央技術研究所 所長代理

コンクリートの配(調)合を表-2に示す。硬化性状への影響要因を単位粗骨材かさ容積と粗骨材の最大寸法の違いに限定するため、水セメント比単位水量は一定とした。また、粗骨材の表乾密度および実積率が同じであるため、粗骨材の単位量は、粗骨材の最大寸法によらず設定した単位粗骨材かさ容積ごとに一定である。化学混和剤の添加率は、目標スランプ 18.0±2.5cm、目標空気量 4.5±1.5%が得られるように、表-3に示すとおり設定した。

## 2.2 練混ぜ方法

コンクリートの練混ぜは、室温 20℃、湿度 60%の環境で二軸式強制練りミキサを用いることとし、粗骨材、細骨材半量、セメント、細骨材半量の順に材料をミキサに投入して 10 秒間の空練りを行った後、水および化学混和剤を投入して 90 秒間の練混ぜを行った。なお、間隙通過性試験方法の検討を行う配(調)合は、スランプロスの影響を考慮して、練上がり直後の試料を試験に供するために、練混ぜを分割した。また、このときの配(調)合はそれぞれ No.2-1、2-2 および 2-3 とした。

## 2.3 試験項目

試験項目と実施配(調)合の組合せを表-4に示す。スランプ、空気量およびコンクリート温度の測定は全ての配(調)合において実施し、圧縮強度および静弾性係数を測定する供試体の採取は、単位粗骨材かさ容積を実験要因とした配(調)合 No.1~4 において実施した。間隙通過性試験方法の検討は、単位粗骨材かさ容積が 0.600m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>の配(調)合を対象として行った。ブリーディング量、長さ変化率を測定する供試体の採取は、配(調)合 No.2-1~2-3 において実施した。

JSCE-F 701「ボックス形容器を用いた加振時のコンクリートの間隙通過性試験方法(案)」は、粗骨材の最大寸法が 20 または 25mm のコンクリートを対象として、図-1に示すボックス形容器に異形棒鋼 D13 を 35mm 間隔のあきで 3 本配置した流動障害を設置し、加振時の間隙通過速度および図-2に示す A 室と B 室における粗骨材量比率を測定して間隙通過性を評価する試験方法である<sup>9)</sup>。以前の検討<sup>9)</sup>では、軟練りコンクリートの間隙通過性を適切に評価できない可能性が示唆された。そこで、写真-1に示す通常の流動障害に加え、異形棒鋼 D10 を 35mm のあきで 5 本配置したもの、さらにフープ用棒鋼 S8 を 30mm 間隔のあきで 6 本配置したものをボックス形容器にそれぞれ設置し、JSCE-F 701 に準拠して試験を行った。パイププレートによる加振は、B 室へ流入したコンクリートの流動が停止した際の充填高さを確認した後に開始し、充填高さが 300mm に達した時点で終了した。なお、粗骨材量比率を測定するための試料(約 5kg)の採取においては、細骨材の実積率を測定する際に用いる容積 2L の金属製容器を用いて定量を計量した。

表-2 コンクリートの配(調)合

配(調)合 No.	単位粗骨材かさ容積 (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )			
		C	W	S	G
1	0.575	340	170	868	907
2	0.600	340	170	828	947
3	0.625	340	170	790	986
4	0.650	340	170	750	1026

表-3 化学混和剤の添加率<sup>※1</sup>

配(調)合 No.	粗骨材の最大寸法					
	20mm		15mm		13mm	
	Ad1	Ad2	Ad1	Ad2	Ad1	Ad2
1	0.75	6.0	0.85	6.0	1.05	5.0
2	0.70	5.0	0.75	6.0	0.75	6.5
3	0.60	8.5	0.65	7.5	0.70	8.5
4	0.60	7.5	0.60	9.0	0.60	9.0
2-1 <sup>※2</sup>	0.60	8.0	0.70	8.5	0.75	8.5
2-2 <sup>※2</sup>	0.65	8.5	0.70	8.5	0.75	7.5
2-3 <sup>※2</sup>	0.65	7.5	0.70	7.0	0.80	5.0

※1 Ad1 は、セメント質量に対する割合(%), Ad2 は、セメント質量の 0.001%に相当する量を 1A としたときの量(A)

※2 配(調)合 No.2 と同一の配(調)合とし、化学混和剤の添加率のみ、前バッチの結果を考慮して微調整

表-4 試験項目と実施配(調)合の組合せ

試験項目	試験方法	実施配(調)合 No		
		1 ~ 4	2-1	2-2 2-3
スランプ	JIS A 1101	○	○	○
空気量	JIS A 1128	○	○	○
コンクリート温度	JIS A 1156	○	○	○
ブリーディング量	JIS A 1123	—	○	—
間隙通過速度, 粗骨材量比率 <sup>※</sup>	JSCE-F 701 に準拠	—	○	○
圧縮強度	JIS A 1108	○	—	—
静弾性係数	JIS A 1149	○	—	—
長さ変化率	JIS A 1129-2	—	—	○

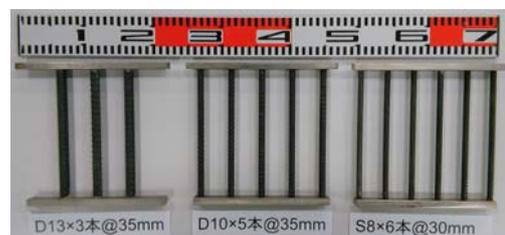


写真-1 流動障害

表-5 フレッシュ性状に関する試験結果

粗骨材の最大寸法 (mm)	配(調)合 No.	スランプ (cm)	スランプロー (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)
20	1	20.0	33.0	3.4	21
	2	19.0	30.0	3.5	21
	3	20.0	31.0	4.4	21
	4	20.5	33.0	3.6	21
	2-1	18.0	28.0	4.0	21
	2-2	20.0	32.5	4.8	21
	2-3	20.5	35.5	5.1	21
15	1	20.0	30.5	4.6	22
	2	19.5	31.0	4.6	22
	3	19.5	32.0	5.5	22
	4	20.0	31.0	4.5	22
	2-1	19.5	33.0	4.1	21
	2-2	19.5	34.0	5.3	21
	2-3	20.0	34.0	5.8	21
13	1	20.0	32.0	3.3	21
	2	18.5	29.0	5.0	22
	3	17.5	28.5	6.0	21
	4	18.5	28.5	4.8	20
	2-1	19.0	31.0	5.0	21
	2-2	17.5	29.5	5.9	21
	2-3	18.5	30.0	4.8	21

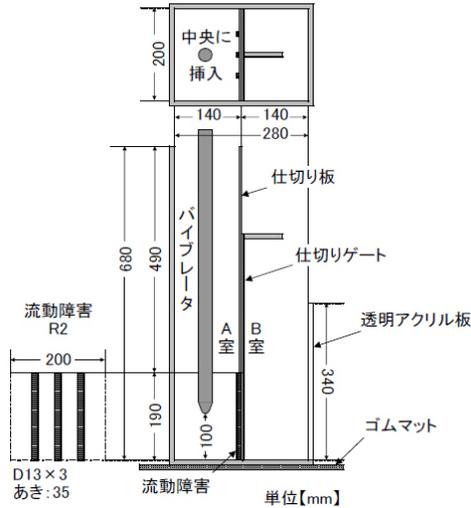


図-1 ボックス容器<sup>7)</sup>

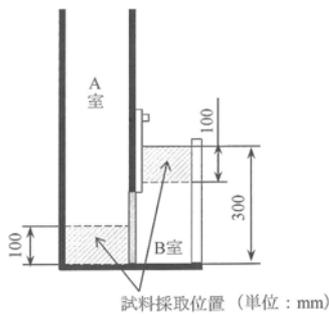


図-2 粗骨材量比率測定における試料採取位置<sup>7)</sup>

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 フレッシュ性状

表-5 にフレッシュ性状に関する試験結果を示す。また、化学混和剤 Ad1 の添加率を図-3 に示す。粗骨材の最大寸法によらず、単位粗骨材かさ容積が小さいほど所要のスランプを得るための化学混和剤の添加率は大きくなる傾向にあった。これは、単位粗骨材かさ容積が小さくなるほど細骨材率が大きくなり、骨材全体の表面積が増大するためと考えられる。また、この傾向は粗骨材の最大寸法が小さいほど顕著となった。これは、骨材の表面積の増大による付着ペーストの影響が顕著になるためと考えられる。表-6 に示すように、細骨材率が大きい配(調)合ほど余剰ペースト量<sup>8)</sup>は多くなるものの、本実験の範囲では、骨材の表面積が増大する影響を緩和するほどの変化量ではないといえる。この結果を踏まえると、間隙通過性の検討において粗骨材の最大寸法が小さい場合、化学混和剤の添加率増加により、コンクリートの粘性は相対的に小さくなるのが想定される。なお、単位粗骨材かさ容積が  $0.650\text{m}^3/\text{m}^3$  の場合は、いずれも所要のスランプを得るための化学混和剤の添加率が一定となり、粗骨材の最大寸法の違いによる影響は見られなかった。

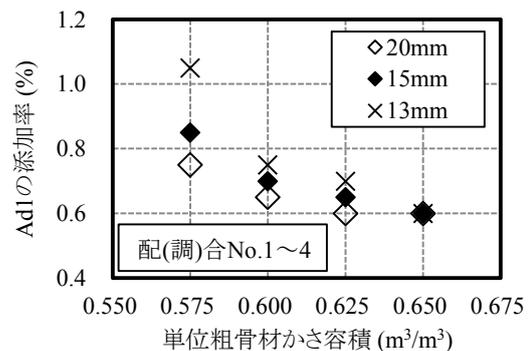


図-3 化学混和剤 Ad1 の添加率

表-6 余剰ペースト量  $P_{exc}$  の計算例<sup>※</sup> (碎石 2005)

配(調)合 No.	s/a (%)	混合実積率 G [実測] (%)	$P_{exc}$ (L/m <sup>3</sup> )
1	49.1	77.6	127
2	46.8	77.5	126
3	44.7	77.3	124
4	42.4	77.1	121

※  $P_{exc} = 1000 - 100 \times G_a / G$

ここに、 $G_a$  : 混合骨材の絶対容積 (L/m<sup>3</sup>)

### 3.2 ブリーディング量

表-7 にブリーディング試験の結果を示す。粗骨材の最大寸法が異なる場合、粗骨材の表面に吸着する拘束水の影響を受けて内部ブリーディング水の量が変化し、観測されるブリーディング水の量に差が生じる<sup>9)</sup>ことが予想されたが、本実験の限りでは、粗骨材の最大寸法の違いによる差や傾向は確認されなかった。

### 3.3 間隙通過速度および粗骨材量比率

図-4 に間隙通過速度の測定結果を示す。粗骨材の最大寸法が15mmで流動障害をD10×5本とした場合のみ、他の場合と異なる傾向を示したが、これは、実測スランブが大きかったためと考えられる。間隙通過速度の測定は、コンクリートの流動時間を手動で計測することによって行うため、間隙通過速度が速すぎる場合、測定者の技量が試験精度に影響を及ぼす可能性がある。一方で、間隙通過速度が極端に遅い場合、実験要因の違いによる差が明確に現れない可能性もある。以上のことを勘案すると、間隙通過速度を的確に表現し得るのは、流動障害をD10×5本とする場合であると考えられる。

図-5 にA室における粗骨材量比率の測定結果を示す。流動障害の鉄筋の本数が多いほど、また、粗骨材の最大寸法が大きいほど、粗骨材量比率が高い結果となった。これは、流動障害の程度が厳しいほど、所定の試料高さに達するまでの加振時間が長くなるため、パイプレタ直下にあるA室下部のコンクリート中に粗骨材が多く偏在するためと考えられる。特に、流動障害をD10×5本またはS8×6本とした場合、いずれの条件においても粗骨材量比率が100%以上であったことから、粗骨材の分離のし易さを比較する上では、適当な流動障害であると判断できる。

図-6 にB室における粗骨材量比率の測定結果を示す。流動障害をS8×6本とした場合において粗骨材量比率は100%を下回り、その程度は粗骨材の最大寸法が大きいほど顕著であった。なお、B室に流入するコンクリートには、A室において既に粗骨材が偏在していたコンクリートを含んでいる可能性があるため、B室における粗骨材量比率が100%に近いほど材料分離が生じていないと判断するのは早計である。すなわち、A室とB室における粗骨材量比率の差が大きいほど、材料分離の程度が大きいと判断するのが妥当である。図-7 に示すとおり、流動障害をS8×6本とした場合において、A室とB室における粗骨材量比率に明確な差が生じていることから、粗骨材の分離のし易さを比較する上では、適当な流動障害であると判断できる。

以上の検討を踏まえ、単位粗骨材かさ容積を $0.600\text{m}^3/\text{m}^3$ としてスランブ18cm程度が得られるコンクリートの間隙通過速度および粗骨材量比率の双方を評価

表-7 ブリーディング試験の結果

粗骨材の最大寸法	20mm	15mm	13mm
ブリーディング量 ( $\text{cm}^3/\text{cm}^2$ )	0.053	0.060	0.049

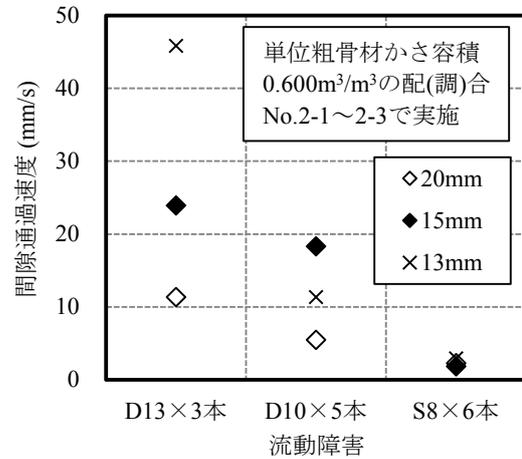


図-4 間隙通過速度

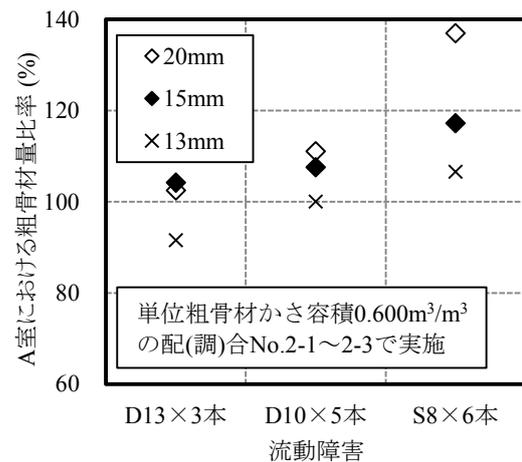


図-5 A室における粗骨材量比率

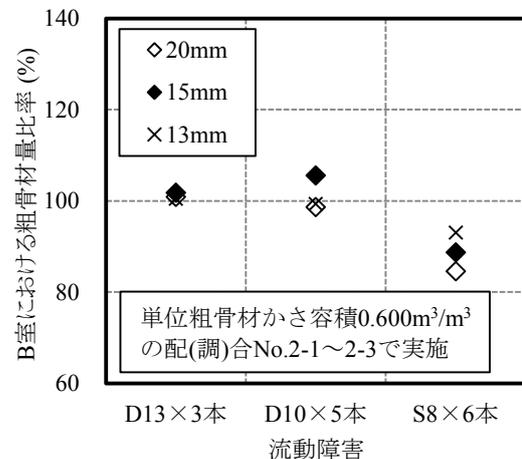


図-6 B室における粗骨材量比率

し得る流動障害は、D10×5本、あるいはD10×5本とS8×6本の中間程度の可能性がある。

### 3.4 圧縮強度および静弾性係数

図-8 に単位粗骨材かさ容積と圧縮強度の関係を示す。また、図-9 に単位粗骨材かさ容積と静弾性係数の関係を示す。単位粗骨材かさ容積が小さい場合、圧縮強度が大きくなる、あるいは、静弾性係数が小さくなるといった、モルタルの硬化性状<sup>10)</sup>に近づくことも想定されたが、粗骨材の最大寸法の大小によらず、そのような性状は確認されなかった。したがって、単位粗骨材かさ容積が0.575~0.650m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>の範囲では、粗骨材の最大寸法の違いが管理用供試体の硬化性状へ及ぼす影響はほとんどないといえる。

圧縮強度と空気量の関係には相関があること、また、圧縮強度と静弾性係数の関係にも相関がある<sup>10)</sup>ことから、それぞれの関係を図示したところ、図-10 および図-11 のようになった。空気量が多いほど圧縮強度は小さく、

圧縮強度が大きいほど静弾性係数が大きくなる傾向を確認することができた。これより、圧縮強度に及ぼす影響は、粗骨材の最大寸法の違いや限られた範囲における単

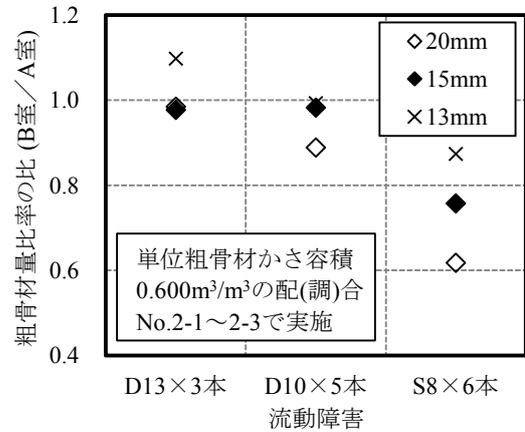


図-7 粗骨材量比率の比 (B室/A室)

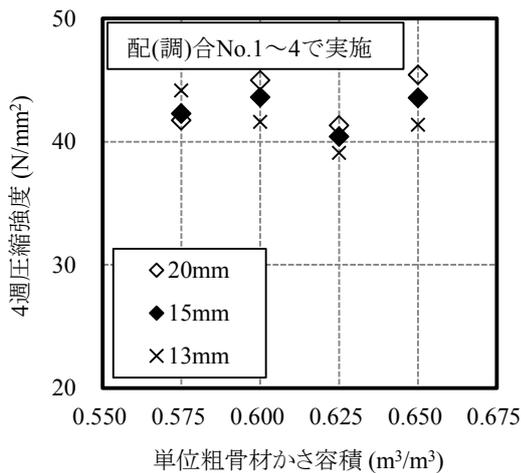


図-8 単位粗骨材かさ容積と圧縮強度の関係

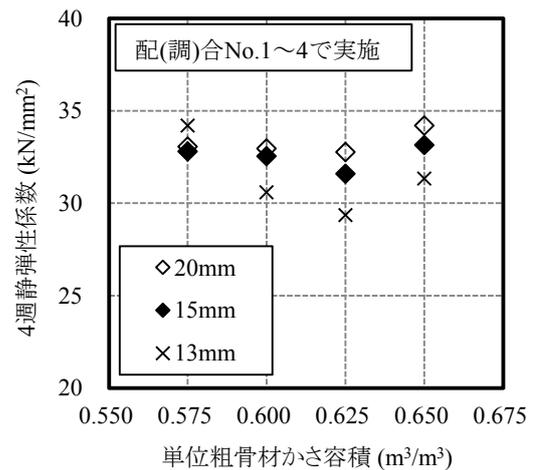


図-9 単位粗骨材かさ容積と静弾性係数の関係

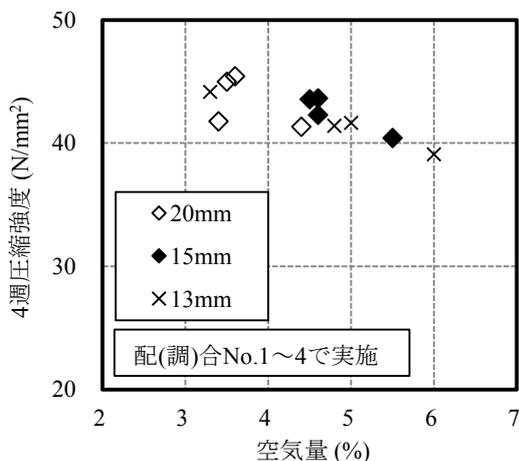


図-10 空気量と圧縮強度の関係

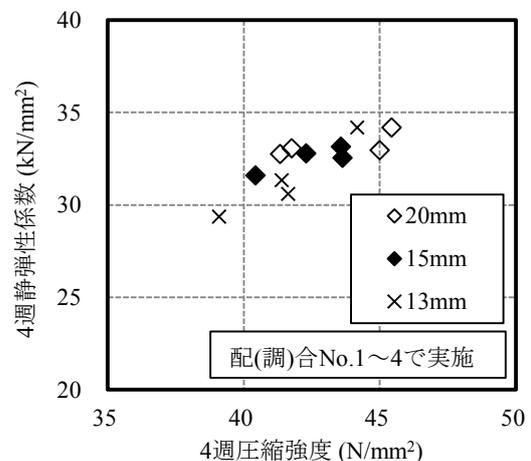


図-11 圧縮強度と静弾性係数の関係

位粗骨材かさ容積の違いよりも、空気量の違いの方が大きいものと考えられる。

### 3.5 長さ変化率

図-12 に長さ変化率の測定結果を示す。粗骨材の最大寸法が 13mm の場合において、長さ変化率が若干大きくなる結果であったが、粗骨材の最大寸法の違いによる明確な傾向は確認できなかった。これは、粗骨材の最大寸法が 13mm の場合において、静弾性係数が小さかったことが影響している可能性が高い。したがって、単位粗骨材かさ容積が同じ条件であれば、粗骨材の最大寸法の違いが長さ変化率に及ぼす影響は小さいと考えられる。

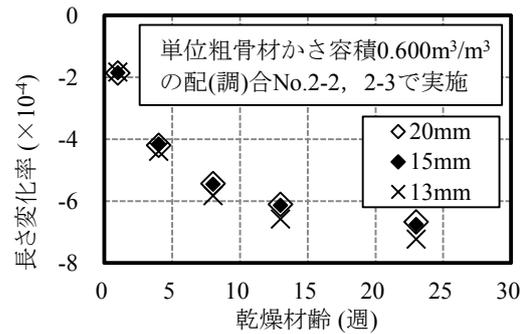


図-12 長さ変化率

## 4. まとめ

水セメント比が 50%、目標スランブが 18cm で粗骨材の最大寸法が 20, 15 および 13mm, 単位粗骨材かさ容積が 0.575~0.650m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> であるコンクリートのフレッシュ性状および硬化性状を確認し、小粒径砕石を使用した場合のコンクリートの性状について検討した。また、JSCE-F 701 試験方法の改良について検討したところ、以下に示す知見を得た。

- (1) 粗骨材の最大寸法を小さくすると、同一のスランブを得るための化学混和剤の添加率は大きくなる傾向にあり、この差は単位粗骨材かさ容積が小さくなると大きくなった。
- (2) 単位粗骨材かさ容積が同じ条件において、粗骨材の最大寸法の違いがブリーディング性状に及ぼす影響は確認できなかった。
- (3) 単位粗骨材かさ容積が 0.575~0.650m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> の範囲では、圧縮強度に及ぼす粗骨材の最大寸法の影響は小さく、空気量の影響が支配的であると考えられる。
- (4) 単位粗骨材かさ容積が 0.575~0.650m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> の範囲では、静弾性係数に及ぼす粗骨材の最大寸法の影響は小さく、圧縮強度の影響が大きいと考えられる。
- (5) 単位粗骨材かさ容積が同じ条件において、粗骨材の最大寸法の違いが長さ変化率に及ぼす影響は小さかった。
- (6) JSCE-F 701 試験方法において、単位粗骨材かさ容積が 0.600m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> でスランブが 18cm 程度となるコンクリートの間隙通過速度および粗骨材量比率の双方を評価し得る適切な流動障害は、D10×5 本、あるいは D10×5 本と S8×6 本の間程度度の可能性がある。

## 謝辞

本実験を実施するにあたり、日本大学生物資源科学部卒研究生(当時)の小林千紘氏、下迫操緒氏、成清慧氏、(株)内山アドバンス技術部の秋里紅路氏に協力をいただいた。ここに感謝の意を表す。

## 参考文献

- 1) 土木学会：2017 年制定 コンクリート標準示方書[施工編]，2018.3
- 2) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事 2018，2018.7
- 3) 上原誠，安達純子，和美廣喜：小粒径粗骨材を用いたコンクリートの品質向上技術に関する実験的研究：その 1 研究計画と骨材粒径による AE 減水剤コンクリートの性質，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.1067-1068，2007.7
- 4) 土木学会：JSCE-F 701-2016 ボックス形容器を用いた加振時のコンクリートの間隙通過性試験方法(案)，施工性能にもとづくコンクリートの配合設計・施工指針[2016 年版]，pp.試験-1-試験-4，2016.6
- 5) 渡邊真史，斉藤丈士，三本巖：JSCE-F 701 試験方法による軟練りコンクリートの間隙通過性評価，コンクリートの性能評価試験の合理化・省力化に関するシンポジウム論文集，pp.255-258，2019.9
- 6) 浦野真次，栗田守朗，江渡正満：高密度配筋部におけるコンクリートの充てん性に関する実験的検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.30，No.2，pp.31-36，2008.7
- 7) 土木学会：コンクリートの施工性能の照査・検査システム研究小委員会 (341 委員会) 第 2 期委員会報告書，p.II-10，図 2.2.1，2013.11
- 8) 西祐宜ほか：コンクリートの材料構成比およびペースト軟度を考慮した調合設計方法に関する実験的研究：その 2 余剰ペースト量および混合実積率とペースト軟度の関係性，日本建築学会大会学術講演梗概集，材料施工，pp.19-20，2015.9
- 9) 十河茂幸ほか：委員会報告 構造物の耐久性向上のためのブリーディング制御に関する研究委員会，コンクリート工学年次論文集，Vol.39，No.1，pp.19-24，2017.7
- 10) 日本コンクリート工学会：コンクリート技術の要点，p.67 および pp.72-76，2018.9